噻虫胺及其混配制剂对意大利蜜蜂和玉米螟赤眼蜂的急性毒性

丁 悦，刘 敏，严海娟，吴若函，郭晓瑜，辛 星，刘贤金*

（江苏省农业科学院食品质量安全与检测研究所，农业部农产品质量安全控制技术与标准重点实验室，南京 210014）

摘要：【目的】明确新烟碱类杀虫剂噻虫胺及其2种混剂对意大利蜜蜂 *Apis mellifera ligustica* 和玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostriniae* 的毒性。【方法】采用摄入法、接触法和药膜法分别测定3种制剂对意大利蜜蜂成年工蜂和玉米螟赤眼蜂成蜂的急性毒性。【结果】急性毒性测定结果表明，30%噻虫胺悬浮剂、30%吡蚜酮·噻虫胺悬浮剂和20%醚菊酯·噻虫胺悬浮剂对意大利蜜蜂成年工蜂的急性摄入毒性均为剧毒，LC_{50} 值(48 h)分别为0.0200(0.0143～0.0272)，0.0847(0.0658～0.1157)和0.1594(0.1200～0.2056) mg a.i./L；3种制剂对意大利蜜蜂成年工蜂急性接触毒性均为高毒，LD_{50} 值(48 h)分别为0.0155(0.0114～0.0197)，0.0426(0.0335～0.0539)和0.1122(0.0796～0.1385) μg a.i./蜂。药膜法测定3种制剂对玉米螟赤眼蜂成蜂的 LC_{50} 值(24 h)分别为0.0232(0.0180～0.0295)，0.1050(0.0940～0.1170)和0.0059(0.0054～0.0065) mg a.i./L；安全性评价结果表明，3种制剂对玉米螟赤眼蜂成蜂均存在极高风险性，安全系数分别为 5.95×10^{-4}，2.69×10^{-3} 和 9.50×10^{-5}。【结论】噻虫胺及其混剂对意大利蜜蜂和玉米螟赤眼蜂均存在较高的毒性风险，在害虫综合治理中应谨慎使用。

关键词：意大利蜜蜂；玉米螟赤眼蜂；噻虫胺；摄入法；接触法；药膜法；急性毒性；安全性评价

中图分类号：Q965.9 **文献标识码：**A **文章编号：**0454-6296(2015)09-1030-07

Acute toxicity of clothianidin and its mixtures to *Apis mellifera ligustica* (Hymenoptera: Apidae) and *Trichogramma ostriniae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae)

DING Yue, LIU Min, YAN Hai-Juan, WU Ruo-Han, GUO Xiao-Yu, XIN Xing, LIU Xian-Jin* (Key Laboratory of Control Technology and Standard for Agro-Product Safety and Quality, Ministry of Agriculture, Institute of Food Safety & Inspection, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract:【Aim】This study aims to clarify the side effects of clothianidin and its two mixtures to *Apis mellifera ligustica* and *Trichogramma ostriniae*.【Methods】The acute toxicity of clothianidin and its two mixtures to adult workers of *A. mellifera ligustica* and adult *T. ostriniae* was determined in the laboratory, and the safety of these insecticides was evaluated.【Results】Stomach toxicity tests performed in standardized conditions on adult bees showed that clothianidin insecticides had very high toxicity to the adult workers of *A. mellifera ligustica*, with the LC_{50} values of 0.0200 (0.0143－0.0272) for 30% clothianidin SC, 0.0847 (0.0658－0.1157) for 30% pymetrozine · clothianidin SC and 0.1594 (0.1200－0.2056) mg a.i./L for 20% ethofenprox · clothianidin SC, respectively. The LD_{50} values of 30% clothianidin SC, 30% pymetrozine · clothianidin SC and 20% ethofenprox · clothianidin SC against adult workers of *A. mellifera ligustica* at 48 h after topical application were 0.0155 (0.0114－0.0197), 0.0426 (0.0335－0.0539) and 0.1122 (0.0796－0.1385) μg a.i. per bee, respectively. All the tested insecticides showed high contact toxicity to adult workers of *A. mellifera ligustica*. Toxicity of test insecticides to adult *T. ostriniae* determined by using dry film residue method under laboratory conditions

基金项目：江苏省自主创新资金项目(CX(14)2060)
作者简介：丁悦，女，1986年12月生，硕士，助理研究员，研究方向为农药环境毒理，E-mail: lydingyue2008@126.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: bugdug@163.com
收稿日期 Received: 2015-05-04；接受日期 Accepted: 2015-06-29

showed that the LC_{50} values (24 h) of 30% clothianidin SC, 30% pymetrozine · clothianidin SC and 20% ethofenprox · clothianidin SC against adult *T. ostriniae* were 0.0232 (0.0180 – 0.0295), 0.1050 (0.0940 – 0.1170) and 0.0059 (0.0054 – 0.0065) mg a. i./L, respectively. The results of safety evaluation showed that 30% clothianidin SC, 30% pymetrozine · clothianidin SC and 20% ethofenprox · clothianidin SC were ranked as very high risk to adult *T. ostriniae* with the safety factors of 5.95×10^{-4}, 2.69×10^{-3} and 9.50×10^{-5}, respectively. 【Conclusion】Clothianidin and its two mixtures have high risk of acute toxicity to both *A. mellifera ligustica* and *T. ostriniae*, so the use of these insecticides should be evaluated carefully in integrated pest management (IPM) programs.

Key words: *Apis mellifera ligustica*; *Trichogramma ostriniae*; clothianidin; stomach toxicity; contact toxicity; dry film residue method; acute toxicity; safety evaluation

噻虫胺属新型新烟碱类杀虫剂,具有触杀、胃毒和内吸活性,其结构新颖,具有高效、选择性强的特点。主要用于防治水稻、蔬菜、果树等作物上的蚜虫、叶蝉、蓟马、飞虱等半翅目、鞘翅目、双翅目和某些鳞翅目害虫。

蜜蜂是一种重要的传粉昆虫,全世界有上万种植物可靠蜜蜂进行传粉(Kearns *et al*., 1998),对农业增产增收具有重要作用,同时还为人类提供大量蜂蜜、蜂胶、蜂蜡等产品。但是,蜜蜂的广泛分布、周身被毛、可移动性强、单一的采集特性等决定了它对环境十分敏感,常被称为环境污染生物指示器(Porrini *et al*., 2003; Celli and Maccagnani, 2003; 吴黎明等, 2008)。近年来,世界各地的蜜蜂出现了严重的种群衰退现象,科学家们称之为蜂群崩溃失调病(colony collapse disorder, CCD),引起蜂群衰退的因素很多,其中农业生产中大量使用农药是其中一个重要诱因(郑志阳和梁勤, 2009)。研究表明,农药除在直接喷洒时杀死蜜蜂外,也可能会对蜜蜂的行为、生长发育、繁殖、记忆、学习、免疫等方面造成影响(王成菊等, 2006);还可能污染花粉,使蜜蜂取食时致死;更严重的是蜜蜂可能将农药带回蜂巢致使整窝蜜蜂死亡(赵帅等, 2011)。欧盟委员会在 2013 年初建议禁用包括噻虫胺在内的 3 种新烟碱类杀虫剂,禁用的范围是作为种子处理剂使用,撒施或者喷雾使用在太阳花 *Portulaca grandiflora* Hook., 油菜 *Brassica napus* L., 玉米 *Zea mays* L. 和棉花 *Gossypium hirsutum* L. 4 种作物上。这个建议源于欧洲食品安全局(EFSA)的一份报告,这份报告称这 3 种有效成分对蜜蜂存在风险。

赤眼蜂 *Trichogrammatid* spp. 是世界范围农林害虫生物防治中应用最广泛的一类寄生蜂,作为卵寄生蜂的赤眼蜂能将害虫杀死于孵化取食危害前,在害虫综合治理中占有突出的优势。作为生态系统中的有益生物,赤眼蜂寄主广泛,可寄生 400 多种害虫,尤其在抑制许多鳞翅目害虫发生危害方面扮演重要角色(Hoffmann *et al*., 2002; Vianna *et al*., 2009; Bayram *et al*., 2010; Wang *et al*., 2012)。我国也是目前世界上应用赤眼蜂防治害虫面积最大的国家之一。近些年,大量农药的应用,尤其是高毒农药对赤眼蜂有巨大的杀伤力(吴长兴等, 2008)。如常规的有机磷类、氨基甲酸酯类和拟除虫菊酯类杀虫剂以及部分新烟碱类杀虫剂如烯啶虫胺、噻虫嗪和大环内酯类药剂阿维菌素对赤眼蜂具有较高毒性和安全风险(Cloyd and Bethke, 2011; 王彦华等, 2012)。随着人们环保意识的增强,越来越倾向于采用对环境没有毒副作用的生物防治方法防治有害生物,但在今后相当长的一段时期内化学防治仍是控制有害生物的重要手段(Rae *et al*., 2009; Bueno *et al*., 2011)。因此,开展农药对天敌赤眼蜂的毒性和安全性评价,了解和探究更多关于农药对其产生的不良影响,避免或减轻农药在使用过程中对天敌的杀伤就显得尤为重要。

农药对蜜蜂和赤眼蜂毒性大小,在一定程度上反映了农药的环境安全性,对于二者的安全保护和成功应用至关重要。因此,本研究进行了噻虫胺及其两种混剂对蜜蜂和赤眼蜂的急性毒性测定,以期为噻虫胺系列农药的科学使用及登记管理提供依据,亦为开展农药对蜜蜂和赤眼蜂进行风险评估以及害虫综合治理中协调化学防治和天敌的控害作用提供重要基础数据。同时也促进农作物生产中逐步摆脱对农药尤其是化学农药的过度依赖,从而减少农药污染,保障农产品质量安全、优质和高产。

1　材料与方法

1.1　供试药剂

30% 噻虫胺悬浮剂、30% 吡蚜酮 · 噻虫胺悬浮剂和 20% 醚菊酯 · 噻虫胺悬浮剂均来自河北博嘉

农业有限公司。试验时用丙酮(分析纯,≥99.5%)配制一定浓度的母液供测试。

1.2 供试生物

意大利蜜蜂 *Apis mellifera ligustica*,由南京市金峰种王养殖场提供。试验蜜蜂要求为健康、大小一致的成年工蜂个体。试验前,在实验室条件下驯养 7 d。用于急性经口毒性试验的蜜蜂应在试验前饥饿 2 h。

玉米螟赤眼蜂 *T. ostriniae* 在室内饲养多年,由南京农业大学植物保护学院提供。将其在生化培养箱中(温度 25 ± 1℃,相对湿度 70% ~80%,避光)以米蛾 *Corcyra cephalonica* 卵为寄主进行繁殖,将羽化后 24 - 48 h 的赤眼蜂成蜂作为试验用蜂。

米蛾由南京农业大学农业部作物病虫害监测与防控重点开放实验室提供,其幼虫用市售玉米粉在塑料周转箱(20 cm × 15 cm × 6 cm) 内饲养。饲养温度为 25 ± 1℃ ,相对湿度为 70% ~80% ,光周期 16L∶8D。所有寄主卵在繁蜂前用 30 W 的紫外灯照射 30 min,杀死其胚胎。

1.3 试验设备

试验蜂笼(木制长方体,内径长 10 cm、宽 8.5 cm、高 8.5 cm,上下两面蒙塑料纱网)、生化培养箱、光照培养箱、电子天平(0.0001 g)、加湿器、微量点滴仪、10 mL 烧杯、温度计、湿度计、移液管等。

1.4 急性毒性测定

参照国家环境保护局颁布的《化学农药环境安全评价试验准则》,蜜蜂的急性毒性试验采用摄入法和接触法测定;赤眼蜂急性毒性试验采用药膜法测定。

1.4.1 摄入法:试验在温度 25 ± 2℃,相对湿度 50% ~70%,微光条件下进行。正式试验前先作预备试验,初步确定供试农药对蜜蜂的最高安全浓度与最低全死亡浓度。

正式试验用 50% 的白糖水将药剂配制成 5 个浓度系列。每个试验蜂笼移入 20 头成年工蜂,取配制好的不同浓度的药剂 3 mL 置于 10 mL 的小烧杯内,并以适量脱脂棉浸渍形成饱和吸水状态棉球,杯口朝下倒放在蜂笼上隔网饲喂蜜蜂,每个浓度重复 3 次。并设空白对照组,对照组仅喂 50% 的白糖水。24 h 和 48 h 后检查并记录各管中死亡和存活蜂数,利用机率值法计算 LC_{50}值(48 h)和相关系数。根据我国农药登记环境毒理学试验单位所采用的分级标准,将农药对蜜蜂摄入毒性(48 h)分为剧毒($LC_{50} \leq$ 0.5 mg a.i./L)、高毒($0.5 < LC_{50} \leq 20$ mg a.i./L)、中等毒性($20 < LC_{50} \leq 200$ mg a.i./L)和低毒($LC_{50} > 200$ mg a.i./L)。对照组蜜蜂死亡率 < 10% 为有效试验。

1.4.2 接触法:试验在温度 25 ± 2℃,相对湿度 50% ~70%,微光条件下进行。正式试验前先作预备试验, 初步确定供试农药对蜜蜂的最高安全浓度与最低全死亡浓度。

正式试验用去离子水将药剂配制成 5 个浓度系列。先用乙醚浸渍 0.5 ~0.8 g 脱脂棉(乙醚用量以不流出为准)将蜜蜂麻醉(对照死亡率不得大于 10%),再用微量点滴器将药剂(体积为 1.0 μL)点滴于蜜蜂的前胸背板处,然后用棉球蘸 50% 糖水隔网饲喂,每个处理重复 3 次。并设丙酮溶剂对照组(1.0 μL/蜂)与空白对照组(仅用 50% 糖水饲喂)。24 和 48 h 后检查并记录管中死亡和存活蜂数,利用机率值法计算 LD_{50}值(48 h)和相关系数。根据 LD_{50}(48 h)将农药对蜜蜂接触毒性分为剧毒($LD_{50} \leq 0.001$ μg a.i. /蜂)、高毒(0.001 μg a.i. /蜂 < $LD_{50} \leq 2.0$ μg a.i. /蜂)、中毒(2.0 μg a.i. /蜂 < $LD_{50} \leq 11.0$ μg a.i. /蜂)、低毒($LD_{50} > 11.0$ μg a.i. /蜂)。对照组蜜蜂死亡率 < 10% 为有效试验。

1.4.3 药膜法:在预试明确药剂有效浓度范围的基础上,将药剂用丙酮溶解稀释为 5 个浓度系列,吸取 1 mL 稀释好的药液于指形管(直径 × 高 = 2.5 cm × 7.5 cm,内表面积为 34.5 cm^2)中作为一个处理,每个处理 3 次重复,另设空白对照组和丙酮对照组(丙酮 1 mL/管)。将加好药液的指形管放在水平桌面上滚动,使药剂均匀地涂于管内壁,待溶剂完全挥发后即形成均匀的药膜。每管移入羽化后 24 - 48 h 的赤眼蜂成蜂 100 ± 10 头,让其在指形管内自由爬行 1 h 后转入无药指形管中,放入浸有 10% 蜂蜜水的脱脂棉条,用保鲜膜和黑布封口并放入生化培养箱中(温度 25 ± 1℃,相对湿度 70% ~80%,避光)。赤眼蜂被转入无药指形管中 24 h 后检查并记录每管中死亡及存活蜂数(用细毛笔轻触蜂体不动者为死亡),计算死亡率。对照组赤眼蜂死亡率 < 10% 为有效试验。

1.5 数据分析

测试数据采用统计软件 SPSS13.0 处理,利用线性回归分析方法计算药剂对玉米螟赤眼蜂成蜂 24 h 的 LC_{50}值及其 95% 置信限。杀虫剂对赤眼蜂急性毒性评价根据安全性系数(safety factor, SF)来划分 4 个等级:极高风险性(安全性系数≤0.05)、高风险性(0.05 < 安全性系数≤0.5)、中等风险性(0.5 <

安全性系数≤5）和低风险性（安全性系数 >5）（俞瑞鲜等，2009）。安全性系数 = 杀虫剂对赤眼蜂的 LR_{50} 值（mg/cm^2）/该杀虫剂的田间最高推荐剂量（mg/cm^2），其中 LR_{50} 为半数致死用量，是指在室内条件下，引起赤眼蜂 50% 死亡率的杀虫剂的使用量，以单位面积上所附着的杀虫剂有效成份的量表示。在本研究中，$LR_{50} = 1.0\ mL \times LC_{50}/34.5\ cm^2$。

2　结果

2.1　噻虫胺及其混剂对蜜蜂的急性毒性和安全性评价

噻虫胺及其混剂对意大利蜜蜂摄入毒力和接触毒力分别见表 1 和 2。由表 1 结果可知，摄入法测定 30% 噻虫胺悬浮剂、30% 吡蚜酮 · 噻虫胺悬浮剂、20% 醚菊酯 · 噻虫胺悬浮剂对意大利蜜蜂 LC_{50} 值（48 h）分别为 0.0200，0.0847 和 0.1594 mg a. i. /L，摄入毒性单剂高于两种混剂。按照农药对蜜蜂摄入毒性分级标准，噻虫胺单剂及其两种混剂对意大利蜜蜂摄入毒性均为剧毒。

由表 2 可知，采用接触法测定 30% 噻虫胺悬浮剂、30% 吡蚜酮 · 噻虫胺悬浮剂、20% 醚菊酯 · 噻虫胺悬浮剂对意大利蜜蜂接触的 LD_{50} 值（48 h）分别是 0.0155，0.0426 和 0.1122 μg a. i. /蜂，接触毒性单剂高于两种混剂。按照农药对蜜蜂接触毒性分级标准，噻虫胺及其两种混剂对意大利蜜蜂接触毒性都为高毒。

2.2　噻虫胺及其混剂对赤眼蜂的急性毒性和安全性评价

采用药膜法测定了噻虫胺及其两种混剂对玉米螟赤眼蜂成蜂的急性毒性，结果见表 3。30% 噻虫胺悬浮剂、30% 吡蚜酮 · 噻虫胺悬浮剂和 20% 醚菊酯 · 噻虫胺悬浮剂对玉米螟赤眼蜂成蜂的 LC_{50} 值（24 h）分别为 0.0232，0.1050 和 0.0059 mg a. i. / L。由此可知，噻虫胺与吡蚜酮复配剂的 LC_{50} 值高于噻虫胺单剂，即该复配剂的毒性低于单剂；而噻虫胺与醚菊酯复配剂的 LC_{50} 值低于单剂，即该复配剂的毒性高于单剂。

农药对赤眼蜂的安全性可用赤眼蜂 LC_{50} 值（24 h）和田间常用质量浓度的比值（安全性系数）来评价（表 4）。3 种制剂对玉米螟赤眼蜂的急性毒性结果表明，30% 噻虫胺悬浮剂、30% 吡蚜酮 · 噻虫胺悬浮剂和 20% 醚菊酯 · 噻虫胺悬浮剂对玉米螟赤眼蜂成蜂均为极高风险性，安全性系数分别为 5.95×10^{-4}，2.69×10^{-3} 和 9.50×10^{-5}。

表 1　噻虫胺制剂及其混剂对意大利蜜蜂成年工蜂的摄入毒性（48 h）

Table 1　Stomach toxicity of clothianidin and its mixtures to adult workers of *Apis mellifera ligustica* (48 h)

供试药剂 Tested pesticides	毒力回归式 Toxicity regression equation $Y = a + bX$	相关系数 Correlation coefficient r	LC_{50} (mg/L) Median lethal concentration	$CL_{0.95}$ (mg/L) Confidence limit of 95%
30% 噻虫胺悬浮剂 30% Clothianidin SC	$Y = 8.3888 + 1.9885X$	0.9985	0.0200	0.0143 – 0.0272
30% 吡蚜酮 · 噻虫胺悬浮剂 30% Pymetrozine · clothianidin SC	$Y = 7.4770 + 2.3025X$	0.9972	0.0847	0.0658 – 0.1157
20% 醚菊酯 · 噻虫胺悬浮剂 20% Ethofenprox · clothianidin SC	$Y = 7.0281 + 2.5240X$	0.9874	0.1594	0.1200 – 0.2056

表 2　噻虫胺制剂及其混剂对意大利蜜蜂成年工蜂的接触毒性（48 h）

Table 2　Contact toxicity of clothianidin and its mixtures to adult workers of *Apis mellifera ligustica* (48 h)

供试药剂 Tested pesticides	毒力回归式 Toxicity regression equation $Y = a + bX$	相关系数 Correlation coefficient r	LD_{50} (μg/蜂) Median lethal dose (μg a. i. per bee)	$CL_{0.95}$ (μg/蜂) Confidence limit of 95% (μg a. i. per bee)
30% 噻虫胺悬浮剂 30% Clothianidin SC	$Y = 8.7645 + 2.0436X$	0.9753	0.0155	0.0114 – 0.0197
30% 吡蚜酮 · 噻虫胺悬浮剂 30% Pymetrozine · clothianidin SC	$Y = 8.4719 + 2.4939X$	0.9940	0.0426	0.0335 – 0.0539
20% 醚菊酯 · 噻虫胺悬浮剂 20% Ethofenprox · clothianidin SC	$Y = 7.3608 + 2.4157X$	0.9957	0.1122	0.0796 – 0.1385

表 3 噻虫胺制剂及其混剂对玉米螟赤眼蜂成蜂的急性毒性(24 h)

Table 3 Acute toxicity of clothianidin and its mixtures to adult *Trichogramma ostriniae* (24 h)

供试药剂 Tested pesticides	毒力回归式及相关系数 r Toxicity regression equation $Y = a + bX$ and correlation coefficient r	LC$_{50}$ Median lethal concentration (95% FL) (mg a. i. /L)	LR$_{50}$ Median lethal rate (95% FL) (mg a. i. /m^2)	田间推荐剂量 Field recommended dose (g a. i. / ha)	田间最高推荐剂量 Field maximum recommended dose (mg/m^2)
30% 噻虫胺悬浮剂 30% Clothianidin SC	$Y = 8.3221 + 2.0310X$ ($r = 0.9757$)	0.0232 (0.0180 - 0.0295)	6.72×10^{-3} ($5.22 \times 10^{-3} - 8.55 \times 10^{-3}$)	67.5 - 112.5	11.25
30% 吡蚜酮·噻虫胺悬浮剂 30% Pymetrozine · clothianidin SC	$Y = 6.4852 + 1.5165X$ ($r = 0.9936$)	0.1050 (0.0940 - 0.117)	3.04×10^{-2} ($2.72 \times 10^{-2} - 3.39 \times 10^{-2}$)	67.5 - 112.5	11.25
20% 醚菊酯·噻虫胺悬浮剂 20% Pthofenprox · clothianidin SC	$Y = 9.4042 + 1.9751X$ ($r = 0.9930$)	0.0059 (0.0054 - 0.0065)	1.71×10^{-3} ($1.57 \times 10^{-3} - 1.88 \times 10^{-3}$)	30 - 180	18

表 4 噻虫胺制剂及其混剂对玉米螟赤眼蜂成蜂的安全性评价

Table 4 Safety evaluation of clothianidin and its mixtures to adult *Trichogramma ostriniae*

供试药剂 Tested pesticides	安全性系数 SF	安全性等级 Safety grade
30% 噻虫胺悬浮剂 30% Clothianidin SC	5.95×10^{-4}	极高风险性 Extremely high risk
30% 吡蚜酮·噻虫胺悬浮剂 30% Pymetrozine · clothianidin SC	2.69×10^{-3}	极高风险性 Extremely high risk
20% 醚菊酯·噻虫胺悬浮剂 20% Ethofenprox · clothianidin SC	9.50×10^{-5}	极高风险性 Extremely high risk

SF: 安全系数 Safety factor; FMRD: 田间最高推荐剂量 Field maximum recommended dose. SF = LR$_{50}$ (mg/m^2)/FMRD(mg/m^2).

3 结论与讨论

摄入法与接触法是根据农药在田间实际使用时对蜜蜂的影响而设计的室内模拟试验。摄入法则模拟田间喷药后,蜜蜂觅食受污染花粉的情况;接触法是模拟田间施药时药液喷洒到蜜蜂或蜜蜂采蜜时接触受农药污染的植株的情况。因此,其结论可以作为该农药对蜜蜂安全评价中急性毒性的依据(吴长兴等, 2008)。由各药剂对蜜蜂的急性接触和摄入毒性可知,所测定的 3 种含噻虫胺的单剂或混剂对蜜蜂的急性毒性为高毒或剧毒。这与赵帅等(2011)的研究结果相吻合:与对蜜蜂本身毒性较高的有效成分相比,剂型的差异对其毒性影响较小。因此,在使用这些含噻虫胺的单剂或混剂时,应尽可能避开蜜源植物花期或远离养蜂区,可能的话要在药剂中加入蜜蜂驱避剂(艾草、驱蚊草和薰衣草浸提液),以免蜜蜂采集带药的花蜜或花粉中毒死亡。另外,本研究表明,按不同方法的评价标准,同种农药对蜜蜂的毒性有一定差异,如噻虫胺单剂及其混剂按摄入法测定为剧毒,按接触法测定为高毒,这与赵学平等(2008)的研究结果相似。主要是因为同种农药在不同的试验方法中药剂进入蜜蜂体内的途径和剂量不同,从而造成其毒性上的差异。

本研究通过对非靶标生物之一的蜜蜂进行急性毒性试验,阐明噻虫胺单剂及其混配制剂对其毒性及其潜在危害,并对农药使用的安全性做出相应的评价,为预防和控制农药对生态环境的危害提供科学依据。但本文仅研究了噻虫胺及其混剂对蜜蜂的急性摄入和接触毒性,而对于农药对蜜蜂的行为反应、慢性毒性、残留毒性和田间毒性,以及蜂体和蜂产品中农药残留量与环境污染程度的相关性等方面需要深入研究。

长期研究发现,农药对天敌昆虫的毒性往往大于对其寄主或其捕食对象的毒性,一方面可能是由于它们生理生化(如酶活性)或捕食方式等方面的差异,另一方面可能是由于施药后天敌失去其寄主或食物,导致饥饿死亡。但是部分农药对天敌和害虫具有明显的选择性(Bastos *et al*., 2006; Brugger *et al*., 2010; 祝小祥等, 2014)。赤眼蜂的生长发育分为卵、幼虫、预蛹、蛹和成虫 5 个阶段,其中农药(昆虫生长调节剂除外)对其成虫期的毒性最高,其原因主要是成蜂在寄主体外活动,而前 4 个阶段均在寄主体内完成,寄主表皮对其有保护作用(Preetha *et al*., 2010)。而农药对生物的安全评价,一般应选择代表性品种和其最敏感的生育期进行(周丽楚等, 1987)。玉米螟赤眼蜂是水稻、玉米、棉花、蔬菜等农作物及果树上许多重要鳞翅目害虫的天敌,且在我国已被大量繁殖和推广应用(陈永明等, 1994; 朱九生等, 2009)。因此,本研究开展了新烟碱类农药噻虫胺及其混剂对玉米螟赤眼蜂成蜂的急性毒性测定。

从保护天敌的角度出发,为了充分发挥赤眼蜂

对害虫的自然控制能力，应减少对赤眼蜂成蜂具有高风险的噻虫胺单剂及其混剂的使用，尤其避开田间赤眼蜂种群的盛发期和种群丰富的场所。在人工释放赤眼蜂进行生物防治时，也要充分考虑与最后一次施药的时间间隔，在释放赤眼蜂或赤眼蜂种群较多的场所应慎重选择农药品种及使用方法，做到科学合理用药，以免大量杀伤赤眼蜂。此外，吡蚜酮·噻虫胺复配剂的毒性略低于噻虫胺单剂和醚菊酯·噻虫胺悬复配剂。由此可知，单剂及其不同的复配剂对赤眼蜂的毒性存在差异，这可能由于各种农药的化学结构、理化性质和作用机制不同导致的（Wang *et al*., 2008）。

尽管噻虫胺单剂及其两种混剂对赤眼蜂成蜂都有一定的急性毒性风险，但本研究是在室内条件下进行的，赤眼蜂成蜂受到最大量的农药选择压。而在实际生产田间施药后，由于复杂的田间环境使有些农药较易降解也会减轻其对赤眼蜂的影响，同时赤眼蜂成蜂可以进入躲避施药的区域，因此，在田间条件下噻虫胺单剂及其两种混剂对赤眼蜂的毒性风险可能会降低。已有研究表明噻虫啉残留在室内和田间对卷蛾赤眼蜂羽化过程中存活的影响存在差异，其原因在于噻虫啉在田间较易分解（Schuld and Schmuck, 2000）；其次农药可能通过赤眼蜂成蜂在田间接触施药的植物表面、取食花粉等过程进入虫体；再次，赤眼蜂在田间的寄主和环境条件也与室内有差异。这些因素导致农药对赤眼蜂在室内与室外的急性毒性测定结果可能不同。

另外，农药除对赤眼蜂具有直接致死作用外，还在其他多个方面即亚致死效应表现出来。不仅表现在使赤眼蜂当代的生长发育迟滞、寿命缩短和繁殖力下降等生理方面的影响，也表现在一些农药同时会对下一代的生物学特性产生不利影响（Desneux *et al*., 2007）。这些表现均从不同方面对天敌种群产生抑制作用。虽然已有研究表明酯酶、谷胱甘肽-S-转移酶和多功能氧化酶是昆虫体内（包括天敌）重要的代谢解毒酶系（沈晋良和吴益东，1995；Bacci *et al*., 2007），其活性的提高有助于赤眼蜂对进入体内杀虫剂的代谢降解。但目前为止，农药对赤眼蜂的亚致死效应的研究，尤其是对赤眼蜂体内的酶动力学影响的研究还很少。

因此，为了全面评价农药对赤眼蜂成蜂的安全性，有必要进行相关的田间试验和亚致死效应的研究，以便更准确地评估这些农药对赤眼蜂的毒性风险。

参考文献（References）

Bacci L, Crespo ALB, Galvan TL, Pereira EJG, Picanço MC, Silva GA, Chediak M, 2007. Toxicity of insecticides to the sweetpotato whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) and its natural enemies. *Pest Management Science*, 63(7): 699–706.

Bastos CS, Almeida RP, Suinaga FA, 2006. Selectivity of pesticides used on cotton (*Gossypium hirsutum*) to *Trichogramma pretiosum* reared on two laboratory-reared hosts. *Pest Management Science*, 62(1): 91–98.

Bayram A, Salerno G, Onofri A, Conti E, 2010. Sub-lethal effects of two pyrethroids on biological parameters and behavioral responses to host cues in the egg parasitoid *Telenomus busseolae*. *Biological Control*, 53(2): 153–160.

Brugger KE, Cole PG, Newman IC, Parker N, Scholz B, Suvagia P, Wakjer G, Hammond TG, 2010. Selectivity of chlorantraniliprole to parasitoid wasps. *Pest Management Science*, 66(10): 1075–1081.

Bueno AF, Batistela MJ, Bueno RCOF, França-Neto JB, Nishikawa MAN, Filho AL, 2011. Effects of integrated pest management, biological control and prophylactic use of insecticides on the management and sustainability of soybean. *Crop Protection*, 30(7): 937–945.

Celli G, Maccagnani B, 2003. Honey bees as bioindicators of environmental pollution. *Bulletin of Insectology*, 56(1): 137–139.

Chen YM, Fu DC, Huang PZ, He YY, 1994. Comparison of toxicity of four kinds of insecticides on every growth stage of *Trichogramma ostriniae* Pang *et* Chen in common use. *Entomological Knowledge*, 31(6): 330–332. [陈永明，傅达昌，黄佩忠，何永银，1994. 棉田四种常用杀虫剂对玉米螟赤眼蜂不同虫态的杀伤力. 昆虫知识，31(6): 330–332]

Cloyd RA, Bethke JA, 2011. Impact of neonicotinoid insecticides on natural enemies in greenhouse and interiorscape environments. *Pest Management Science*, 67(1): 3–9.

Desneux N, Decourtye A, Delpuech JM, 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, 52: 81–106.

Hoffmann MP, Wright MG, Pitcher SA, Gardner J, 2002. Inoculative releases of *Trichogramma ostriniae* for suppression of *Ostrinia nubilalis* (European corn borer) in sweet corn: field biology and population dynamics. *Biological Control*, 25(3): 249–258.

Kearns CA, Inouye DW, Waster NM, 1998. Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29: 83–112.

Porrini C, Sabatini AG, Girotti S, Medrzycki P, Grillenzoni F, Bortolotti L, Gattavecchia E, Giorgio G, 2003. Honey bees and bee products as monitors of the environmental contamination. *Apiacta*, 38: 63–70.

Preetha G, Manoharan T, Stanley J, Kuttalam S, 2010. Impact of cloronicotinyl insecticide, imidacloprid on egg, egg-larval and larval parasitoids under laboratory conditions. *Journal of Plant Protection Research*, 50(4): 535–540.

Rae RG, Robertson JF, Wilson MJ, 2009. Optimization of biological

(*Phasmarhabditis hermaphrodita*) and chemical (iron phosphate and metaldehyde) slug control. *Crop Protection*, 28(9): 765 – 773.

Schuld M, Schmuck R, 2000. Effects of thiacloprid, a new chloronicotinyl insecticide, on the egg parasitoid *Trichogramma cacoeciae*. *Ecotoxicology*, 9(3): 197 – 205.

Shen JL, Wu YD, 1995. Insecticide Resistance in Cotton Bollworm and Its Management. China Agriculture Press, Beijing. 177 – 280. [沈晋良, 吴益东, 1995. 棉铃虫抗药性及其治理. 北京: 中国农业出版社. 177 – 280]

Vianna UR, Pratissoli D, Zanuncio JC, Lima ER, Brunner J, Pereira FF, Serrão JE, 2009. Insecticide toxicity to *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) females and effect on descendant generation. *Ecotoxicology*, 18(2): 180 – 186.

Wang CJ, Qiu LH, Zheng MQ, Tao CJ, Jiang H, Zhang WJ, Li XF, 2006. Safety evaluation of abamectin and its mixtures to honey bees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Agro-Environment Science*, 25(1): 229 – 231. [王成菊, 邱立红, 郑明奇, 陶传江, 姜辉, 张文吉, 李学锋, 2006. 阿维菌素及其混配制剂对蜜蜂的安全性评价. 农业环境科学学报, 25(1): 229 – 231]

Wang HY, Yang Y, Su JY, Shen JL, Gao CF, Zhu YC, 2008. Assessment of the impact of insecticides on *Anagrus nilaparvatae* (Pang *et* Wang) (Hymenoptera: Mymanidae), an egg parasitoid of the rice planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). *Crop Protection*, 27(3 – 5): 514 – 522.

Wang YH, Chen LP, Yu RX, Zhao XP, Wu CX, Cang T, Wang Q, 2012. Insecticide toxic effects on *Trichogramma ostriniae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Pest Management Science*, 68(12): 1564 – 1571.

Wang YH, Yu RX, Zhao XP, An XH, Chen LP, Wu CX, Wang Q, 2012. Acute toxicity and safety evaluation of neonicotinoids and macrocycli lactiones to adult wasps of four *Trichogramma* species (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Acta Entomologica Sinica*, 55(1): 36 – 45. [王彦华, 俞瑞鲜, 赵学平, 安雪花, 陈丽萍, 吴长兴, 王强, 2012. 新烟碱类和大环内酯类杀虫剂对四种赤眼蜂成蜂急性毒性和安全性评价. 昆虫学报, 55(1): 36 – 45]

Wu CX, Wang Q, Zhao XP, Wu SG, Chen LP, 2008. Study on toxicity and safety evaluation of chlorpyrifos and fenpropathrin to *Trichogramma*. *Agrochemicals*, 47(2): 125 – 127. [吴长兴, 王强, 赵学平, 吴声敢, 陈丽萍, 2008. 毒死蜱和甲氰菊酯对赤眼蜂毒性与安全评价. 农药, 47(2): 125 – 127]

Wu LM, Wang Y, Tian XW, Zhao J, 2008. Research progress in bee and honeybee product as biological indicator for monitoring environmental pollution. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 10(3): 18 – 23. [吴黎明, 王勇, 田晓薇, 赵静, 2008. 蜜蜂及其产品作为环境污染微生物指示器的研究进展. 中国农业科技导报, 10(3): 18 – 23]

Yu RX, Yu WH, Wu CX, Wu SG, Chen LP, Cang T, Zhao XP, 2009. Effects of different pesticides on adults, larvae, eggs and pupae of *Trichogramma nubilale*. *Agrochemicals*, 48(8): 588 – 590. [俞瑞鲜, 俞卫华, 吴长兴, 吴声敢, 陈丽萍, 苍涛, 赵学平, 2009. 不同农药对欧洲玉米螟赤眼蜂的影响. 农药, 48(8): 588 – 590]

Zhao S, Yuan SK, Cai B, Jiang H, Wang XJ, Lin RH, Qu WG, Zhang ZR, 2011. The acute oral toxicity of 300 formulated pesticides to *Apis mellifera*. *Agrochemicals*, 50(4): 278 – 290. [赵帅, 袁善奎, 才冰, 姜辉, 王晓军, 林荣华, 瞿唯钢, 张招荣, 2011. 300 个农药制剂对蜜蜂的急性经口毒性. 农药, 50(4): 278 – 290]

Zhao XP, Cang T, Chen C, Wu CX, Chen LP, Wu SG, Yu RX, Wang Q, 2008. Safety evaluation of several pesticides to honey bees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Zhejiang Agricultural Science*, (6): 748 – 750. [赵学平, 苍涛, 陈超, 吴长兴, 陈丽萍, 吴声敢, 俞瑞鲜, 王强, 2008. 几种农药对蜜蜂毒性与安全性评价研究. 浙江农业科学, (6): 748 – 750]

Zheng ZY, Liang Q, 2009. Etiological analysis of colony collapse disorder (CCD). *Apiculture of China*, 60(6): 6 – 8. [郑志阳, 梁勤, 2009. 蜂群崩溃失调病(CCD)的病因分析. 中国蜂业, 60(6): 6 – 8]

Zhou LC, Chen R, Cai DJ, 1987. Studies on the eco-environment safety assessment of chemical pesticides – Ⅺ. The toxicity and assessment of pesticides to trichogrammatids. *Rural Eco-environment*, (3): 12 – 14, 27. [周丽楚, 陈锐, 蔡道基, 1987. 化学农药对生态环境安全评价研究——Ⅺ. 农药对天敌赤眼蜂的毒性与评价. 农村生态环境, (3): 12 – 14, 27]

Zhu JS, Lian ML, Wang J, Qin S, 2009. The toxicity of abamectin on different developmental stages of *Trichogramma evanescens* and effects on its population dynamics. *Acta Ecologica Sinica*, 29(9): 4738 – 4744. [朱九生, 连梅力, 王静, 秦曙, 2009. 阿维菌素对广赤眼蜂(*Trichogramma evanescens*)不同发育阶段的毒性和实验种群动态的影响. 生态学报, 29(9): 4738 – 4744]

Zhu XX, Cang T, Wang YH, Wu CX, Zhao XP, Wang Q, 2014. Acute toxicity and risk assessment of triazole fungicides to adult wasps of three *Trichogramma* species (Hymenoptera: Trichogrammidae). *Acta Entomologica Sinica*, 57(6): 688 – 695. [祝小祥, 苍涛, 王彦华, 吴长兴, 赵学平, 王强, 2014. 三唑类杀菌剂对三种赤眼蜂成蜂的急性毒性及风险评估. 昆虫学报, 57(6): 688 – 695]

(责任编辑: 赵利辉)